

兵庫県南部地震による基礎杭の残留変位の解析

早稲田大学 学生会員 ○松本浩一郎 日本工営（株）田近 孝治
早稲田大学 フェロー 濱田 政則 早稲田大学 後藤 俊幸

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震において残留変位を生じた、高架橋の 4 つの橋脚基礎について、側方流動による地盤変位を考慮して残留変位の要因分析を行った。本文では、そのうち A 橋脚の基礎杭を中心に、その解析結果を報告する。

2. 解析対象の概要

2.1 周辺地盤変位と橋脚の残留変位：解析対象とした高架橋の橋脚の基礎杭は、神戸市の埋立地に位置する。この付近一帯は兵庫県南部地震時に広い範囲に亘って液状化現象がみられた。地震前後の航空写真により測定した橋脚周辺の地表面変位を図 1 に示す。護岸が、1.5m から 3m 程度海側に变位しており、その背後地盤も広範囲にわたり 1m 程度の水平変位を生じている。橋脚の残留変位は、橋軸方向に約 60cm である（図 2）。

2.2 杭基礎の変形状況：基礎杭は、外径 1500mm 杭長 41.4m の場所打ち杭であり、支持層への根入れは約 27m である。ボアホールカメラにより測定された杭基礎の損傷状況を、図 3 に示す¹⁾。調査深度は杭頭からの深さ 34.4m までで、杭頭より 13.4m から 26.1m にかけてクラックが多数発生している。また、フーチングとの結合部付近にもクラックが多数見られる。

3. モデル化

3.1 地盤条件：周辺地盤の地盤条件は図 4 に示す通りである。地下水面は地表面より 2.85m の O.P.+1.30m に位置している。液状化層の判定は解析結果に大きな影響を与えるが、ここでは、第 3 層に不透水層である粘土層が存在していることから、埋立地盤における地下水位以深の盛土を液状化層とした。従って液状化層厚は 16.2m と推定される。

3.2 解析モデル：解析においては橋軸方向に 1 列をモデル化した（図 2 参照）。杭の本数が列ごとに異なるため、断面 2 次モーメントを列ごとに補正し、杭の強さを調整した。ここで、図 5 に解析モデルを示す。液状化層上部の非液状化層の変位を、地盤バネを介して入力する。入力地盤変位は、橋脚の残留変位 60cm とし、深さ方向に一定の矩形分布とした。解析モデルに用いる杭基礎、およびフーチング前面地盤の水平地盤反力係数や地盤反力度の上限値は、道路橋示方書の規定²⁾によった。液状化層中の地盤反力係数は 0 とした。また、杭の曲げモーメントと曲率の関係はトリリニア型の非線形とした。

3.3 受働土圧係数の算定：上部非液状化層の受働土圧係数は、N 値より土のせん断抵抗角 ϕ を推定²⁾し、Coulomb の土圧公式により $K_p=3.69$ と求まる。しかし、地盤にすべり面が生じた場合、すべり

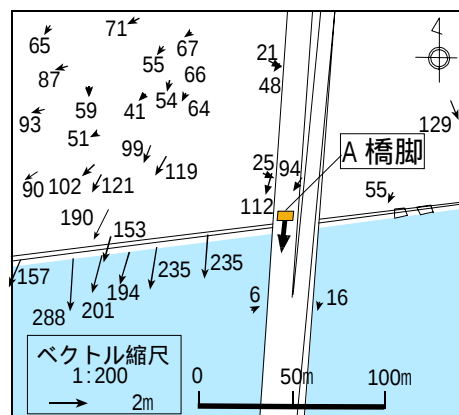


図 1 周辺地盤の地表面変位

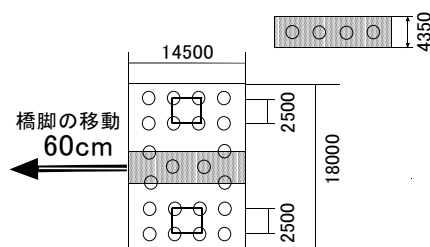


図 2 橋脚の残留変位図

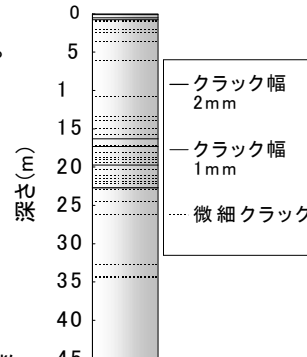


図 3 杭の損傷状況

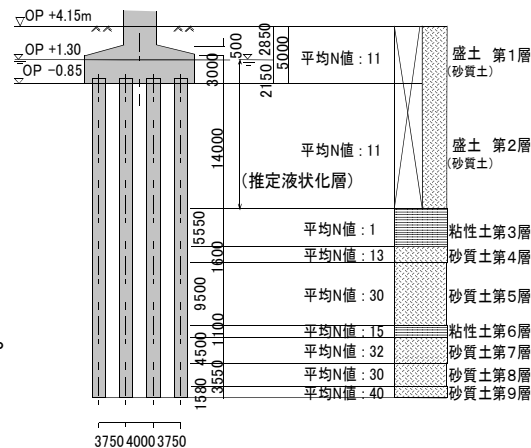


図 4 周辺地盤の地盤条件

Key Words：側方流動、液状化、杭、地震

土塊の側面の抵抗が働くと考えられる。この側面のせん断力を土圧係数に換算すると+0.37 となる。よって受働土圧係数を $K_p=3.69$ および $K_p=4.06$ とした場合で解析を行った。

4. 地下水面

地震時の地下水面の位置を正確に推定することは難しいが、本解析に用いた杭は、護岸近傍に位置していることから、海面潮位の変動が地下水位に大きく影響を与えていることが考えられる。神戸駿潮所における毎時潮汐データを図 6 に示す³⁾。兵庫県南部地震発生の日 1 月 17 日は、大潮にあたり潮位が大きく変動している。地震発生後の午前 6 時以降はデータが欠落しているものの、午前 2 時には潮位が O.P.+0.43m まで低下しており、その後上昇し地震直前の午前 5 時の潮位は O.P.+1.18m であった。

地下水位の変動が潮位より遅れることを考えると、地震時に地下水面が潮位よりも低い位置に存在していた可能性が考えられる。そこで、地下水位の変動に注目し、地下水面を O.P.+1.30m から O.P.+0.50m まで変化させて解析を行った。

5. 解析結果

本研究では非液状化層の地盤変位による外力のみを考慮した解析を行った。解析の結果から、地下水面の位置と杭頭での変位との関係を表 1 に示す。入力地盤パネの受働土圧係数を $K_p=3.69$ とし、地下水面を O.P.+1.30m に設定した場合で杭頭実測変位の約 2 割に満たなかった。ところが地下水面を低下させるにつれて杭頭変位が大きくなり、O.P.+0.5m まで低下させた場合に実測変位にほぼ達した。 $K_p=4.06$ とした場合にも同様な傾向にあるが、こちらは O.P.+0.7m で杭頭変位が実測変位のほぼ 9 割にまで達することが分かった。

$K_p=4.06$ とした場合の、杭におけるモーメント分布と損傷状況を図 7 に示す。杭のコンクリートひび割れ発生モーメント M_c を超える領域とクラックの位置とが、杭頭および杭中央部で一致している。次に図 8 に変位分布図を示す。粘土層下面付近で曲率が極大になっていることから、粘土層下面以下が根入れ部になっていると考えられる。以上より、上部非液状化層の変位を考慮した解析で、杭の損傷状況や杭頭での残留変位を概ね説明しうることが分かった。また地下水位の設定が解析結果に大きな影響を与えることがわかった。

6. まとめ

- ・ 基礎杭に作用する外力は上部非液状化層の変位に大きく依存しており、杭頭部および杭中央部でのクラックを説明することが可能である。
- ・ 地震時の潮位より推定される地下水位の低下が、解析結果に大きな影響を与える。

参考文献：1) 阪神高速道路公団；埋立地盤の橋梁基礎構造物に関する震災調査研究 1996.12 など

2) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 共通編、下部構造編、1996

3) 日本海洋データセンター；http://www.jodc.jhd.go.jp/index_j.html

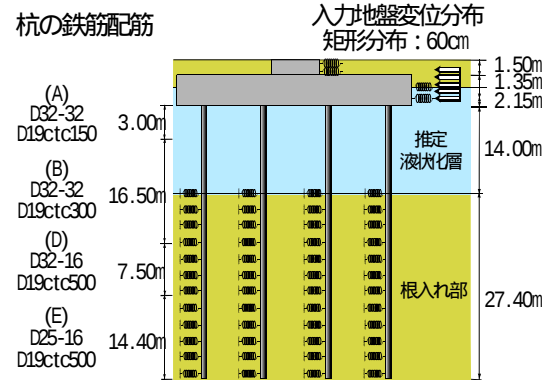


図 5 解析モデル図

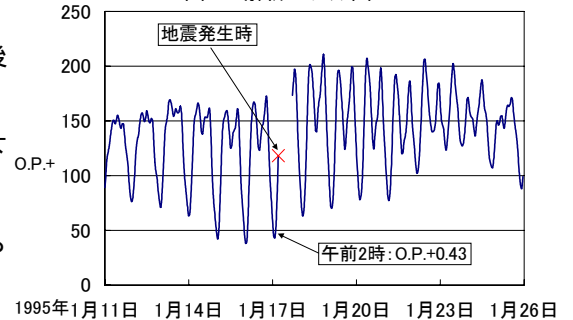


図 6 神戸駿潮所における毎時潮汐データ

表 1 地下水面変化時の杭頭変位

地下水面	K_p	O.P. +1.30	O.P. +1.20	O.P. +0.90	O.P. +0.70	O.P. +0.60	O.P. +0.50
杭頭変位 (cm)	3.69	11.88	13.56	26.16	42.44	51.52	57.95
	4.06	13.67	16.12	36.16	55.56	57.98	58.19

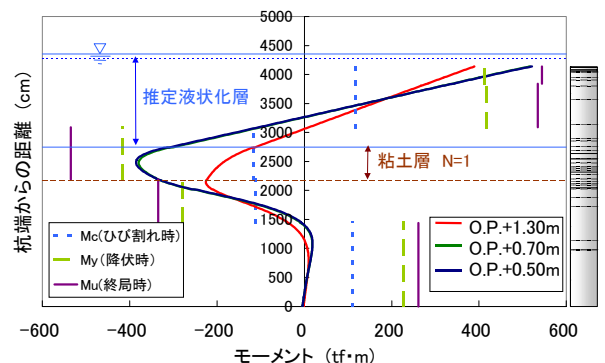


図 7 モーメント分布と損傷状況

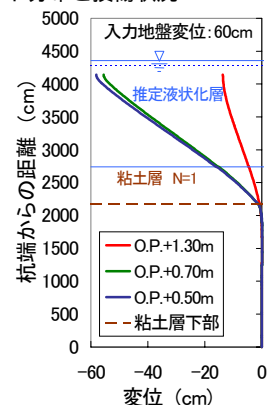


図 8 変位分布図